

УДК 664.7

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Б.С. Бабакин, М.И. Воронин, С.Б. Бабакин, Р.Б. Айтикеев

Московский государственный университет пищевых производств,
Россия, 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11
E-mail: mv50@mail.ru

Рассмотрены новые подходы к решению задач, возникающих в рамках сложившейся парадигмы в процессе холодильной обработки продуктов. Особое внимание уделяется быстро развивающемуся направлению в холодильном деле - применению электрофизических методов в холодильной технологии.

холодильная технология, электрофизика, методы, озон

По данным МИХ, в 2007 г. сельское хозяйство государств мира произвело 5500 млн. т пищевой продукции и только 7% её было подвергнуто холодильной обработке из-за нехватки холодильных ёмкостей и энергетических мощностей. С учётом временного холодильного хранения и перевозок в холодильном транспорте удалось сохранить около 1800 млн. т продовольствия.

В настоящее время в промышленно развитых странах доля потерь продуктов составляет 5-7%. Для развивающихся стран этот показатель намного выше. На 25-й сессии Управляющего Совета Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП), проходившей в Найроби 16-20 февраля 2009 г., констатировалось, что из-за неэффективного использования и хранения в общемировом масштабе около половины продовольствия выбрасывается в связи с потерей качества.

На сегодняшний день на холодильных предприятиях для предотвращения порчи продуктов, сохранения их количества в процессе холодильной обработки и осуществления санитарно-гигиенических мер по безопасности тары и оборудования в основном применяются химические методы.

Однако существующие методы в условиях повышенного грузооборота неэффективны и затратны. Например, традиционная санитарная обработка холодильных камер водными растворами (так называемый мокрый способ) помимо незначительного дезинфицирующего эффекта, отепления камер для обработки, длительности простоя последних (до 5-6 дней) приводит к большим непроизводительным расходам, а при загрузке продукции в камеру в процессе хранения вообще невозможна.

Использование современных хлорсодержащих препаратов для поддержания асептических условий небезопасно. Известно, что применение хлорсодержащих дезинфектантов приводит к накоплению последних в продуктах питания и, как следствие, - в организме человека. В процессе их использования образуются диоксины и фураны, обладающие выраженным канцерогенным

действием. Как правило, применение химических дезинфектантов осуществляется на стадии подготовки холодильных камер к закладке продуктов на хранение.

В процессе хранения антисептирование в присутствии продукта не ведется либо ведется с применением других физических методов.

Ряд общепризнанных в мире организаций, определяющих политику в отношении токсичности химических соединений (в США такими организациями являются Управление по охране окружающей среды (Environmental Protection Agency - EPA), Администрация профессиональной безопасности и здоровья (Occupational Safety and Health Administration - OSHA)), отмечают, что хлорсодержащие препараты не активны или проявляют низкую или избирательную активность в отношении ряда грибов, плесеней, возбудителей туберкулеза и спор.

В настоящее время в мире применяется свыше 50 технологий, использующих хлорированные водные растворы, что оказывает значительную экологическую нагрузку на окружающую среду.

Одним из путей снижения энергоёмкости холодильного оборудования является уменьшение эксплуатационных затрат, в частности, потерь холода при проведении санитарной обработки холодильных камер промышленных и торговых холодильников, а также рефрижераторного транспорта за счет замены мокрого способа их дезинфекции хлорсодержащими растворами на сухие способы с применением электрофизических методов, т. е. озонирования, УФ-облучения, низкотемпературной неравновесной плазмы.

В таблице приведены результаты исследования активности основных химических групп дезинфектантов и электрофизических факторов.

Таблица. Активность основных химических групп дезинфектантов и электрофизических факторов на различные группы микроорганизмов

Table. Activity of basic chemical disinfectant groups and electrophysical factors

Дезинфектанты и электрофизические факторы	Микроорганизмы				
	Вирусы Липидные	Грамотрицательные бактерии	Вирусы нелипидные	Микобактерия ТВ	Споры грамположительных бактерий
Альдегиды	+	+	+	+	+
Перекиси	+	+	+	+	+
Галогены	+	+	+	+	+/-
Амины	+	+	+	+	+/-
Спирты	+	+	+/-	+	-
Озон	+	+	+	+	+
Плазма	+	+	+	+	+
Озон + УФ	+	+	+	+	+
Озон и аэроионы	+	+	+	+	+

Как видно из таблицы, электрофизические факторы эффективны при уничтожении различных видов микроорганизмов.

Специалисты ряда стран США, Германии, России в своих работах показали, что многие овощи сохраняются более продолжительное время при

умеренном озонировании воздуха. Установлено, что при хранении картофеля в камере с озонированием с концентрацией 12 мг/м³ ежемесячно озонирование менее всего сказывается на изменении макро- и микроэлементов хранящихся клубней.

Некоторыми авторами отмечено действие озона на дозревание овощей. Так, при определенных концентрациях озона замедляется их созревание за счёт окисления этилена и других летучих продуктов обмена веществ.

Обработка свежих овощей озono-воздушной смесью различной концентрации озона приводит к существенному уменьшению потерь от гниения, позволяет регулировать интенсивность дыхания, замедлять их созревание и перезревание при заготовке, транспортировке, хранении и подготовке к реализации. В результате натуральных экспериментов и промышленного хранения плодоовощной продукции установлены и подтверждены инструкциями и рекомендациями оптимальные концентрации озono-воздушной смеси в сочетании с холодом, позволяющие сократить потери плодоовощной продукции от микробиологической порчи в 1,5-3 раза при увеличении сроков хранения в 1,5-2 раза по сравнению с традиционными рекомендуемыми режимами холодильного хранения.

Перспективным направлением является применение озono-жидкостных растворов, являющихся эффективными, экологически безопасными антисептиками, для обработки холодильных камер, тары, оборудования, продуктов и сельскохозяйственного сырья, а также для предпродажной обработки продуктов в местах их массовой реализации.

В составе современного судового и берегового оборудования Канады, США, Израиля, Японии, Испании и других стран активно используются установки, в принцип действия которых положены электрофизические методы обработки. Выловленная рыба обрабатывается озono-водными смесями при заданных температурах и концентрациях компонентов, что позволяет стабилизировать ее качественные показатели при хранении и переработке. Трюмы и емкости для хранения, подвергаемые подобной обработке, эффективно обеззараживаются.

Эти инновационные технологии продуктивно используются компаниями Ozon International, Unisea, Pacific Seafoods, Steritrox и другими, что позволяет отказаться от вредных хлорсодержащих препаратов для дезинфекции помещений и обработки продуктов. Например, по утверждениям зарубежных пользователей установками на базе электрофизических методов (ЭФМ), обработка выловленной рыбы озонированной водой позволяет сохранить ее в свежем виде до семи дней, сократить потери и транспортировать свежей на дальние расстояния.

Фирма Petfrost (petertaboada.com) предлагает систему обеспечения качества пищевых продуктов (мяса, птицы, плодов, овощей и др.) на основе их обработки озono-водными растворами и озono-воздушными смесями с подавлением и уничтожением бактериальной микрофлоры.

Характеристики насыщенных озono-водных растворов, полученные авторами для различных температур воды, приведены на рис. 1, 2.

Авторами разработаны способы обработки сырья биологического происхождения озono-водными растворами. Согласно полученному авторами в 2010 г. патенту РФ, фрукты или овощи размещаются в емкости, откуда они

поступают в транспортер для обработки на конвейере озono-водным солевым раствором при температуре смеси от 10 до минус 7°C, концентрации озона в солевом растворе от 5 до 60 мг/л. Применены солевые растворы, содержащие соли щелочных металлов (NaCl, KJ, MgCl₂), с концентрацией от 0,1 до 11%. Озono-водный раствор можно получать как барботированием водной среды с растворами щелочных металлов озонem, так и в смесительных устройствах с распылительными насадками для диспергирования растворов.

Оптимальная экспозиция обработки, установленная опытным путем, составляет от 5 до 15 мин в зависимости от вида продукта и объекта обработки.

Кроме интенсивного перемешивания озono-водной среды с обрабатываемыми продуктами и микрогидравлического, кавитационного воздействия на их поверхность, дополнительно, в случае напорного барботирования или душирования, происходит интенсивное очищение продукта от загрязнений, микрофлоры и продуктов её жизнедеятельности. В продуктах, в свою очередь, наблюдается эффект массирования и укрепления поверхностных клеточных и тканевых структур, что впоследствии приводит к увеличению сроков длительного или временного хранения перед реализацией при сохранении высокого качества продуктов.

Наличие в растворе солей щелочных металлов позволяет не только усилить антисептический эффект смеси, но и существенно увеличивает растворимость и устойчивость к распаду озона в озono-водной среде. Это приводит к повышению эффективности и производительности обработки за счет увеличения концентрации и устойчивости озона в озono-водном растворе.

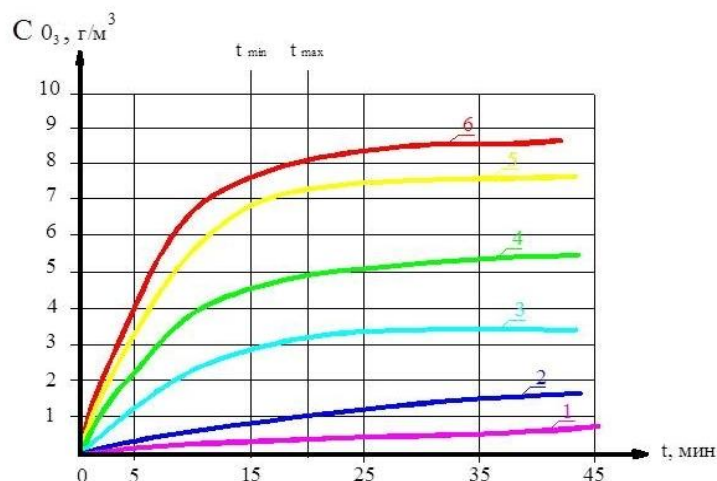


Рис. 1. Озono-водные растворы с различной концентрацией CO₃ при температуре воды 20°C в зависимости от продолжительности обработки:

1 – 2,5 г/м³; 2 – 10 г/м³; 3 - 30 г/м³; 4 – 30 г/м³; 5 – 60 г/м³; 6 - 70 г/м³

Fig. 1. Ozon-water solutions with different CO₃ concentration at water temperature 20° depending on time of processing:

1 – 2,5 g/m³; 2 – 10 g/m³; 3 - 30 г/м³; 4 – 30 g/m³; 5 – 60 g/m³; 6 - 70 g/m³

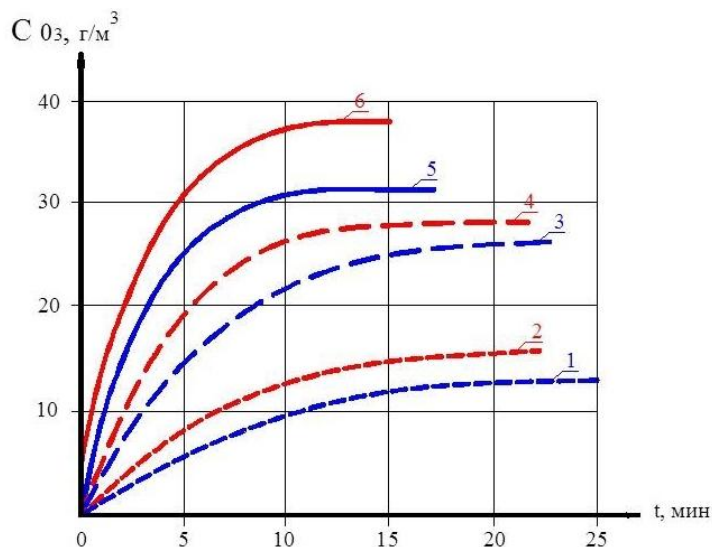


Рис. 2. Характеристики насыщенных озono-водных растворов при температурах:

1 – $t=0^{\circ}\text{C}$; $\text{CO}_3=40 \text{ г/м}^3$; 2 – $t=0^{\circ}\text{C}$; $\text{CO}_3=60 \text{ г/м}^3$; 3 – $t=-3,5^{\circ}\text{C}$; $\text{CO}_3=40 \text{ г/м}^3$;
 4 – $t=-3,5^{\circ}\text{C}$; $\text{CO}_3=60 \text{ г/м}^3$; 5 – $t=-7^{\circ}\text{C}$; $\text{CO}_3=40 \text{ г/м}^3$; 6 – $t=-7^{\circ}\text{C}$; $\text{CO}_3=60 \text{ г/м}^3$

Fig. 2. Characteristics of saturated ozon-water solutions at temperatures:

1 – $t=0^{\circ}\text{C}$; $\text{CO}_3=40 \text{ g/м}^3$; 2 – $t=0^{\circ}\text{C}$; $\text{CO}_3=60 \text{ g/м}^3$; 3 – $t=-3,5^{\circ}\text{C}$; $\text{CO}_3=40 \text{ g/м}^3$;
 4 – $t=-3,5^{\circ}\text{C}$; $\text{CO}_3=60 \text{ g/м}^3$; 5 – $t=-7^{\circ}\text{C}$; $\text{CO}_3=40 \text{ g/м}^3$; 6 – $t=-7^{\circ}\text{C}$; $\text{CO}_3=60 \text{ g/м}^3$

Авторами разработан также способ получения антисептированных растворов, позволяющий получать водные растворы с максимальной концентрацией озона. Сущность способа заключается в том, что обрабатываемая жидкость, например вода, разделяется на два потока: один поступает на охлаждение в камеру диспергирования, снабженную редукционным клапаном и диспергатором, и охлаждается испарителем, при этом растворимость озона жидкости повышается с понижением ее температуры. Другой поток направлен на охлаждение конденсатора холодильной машины для снятия тепловой нагрузки, а насыщение озонem холодного потока жидкости осуществляется до концентрации 30-50 мл CO_3 на 100 мл воды. Создаваемое в камере диспергирования избыточное давление за счет выхода из жидкости озона дополнительно увеличивает насыщение им жидкости. Насыщенный озонem раствор в дальнейшем соединяется с теплым потоком жидкости, поступающим от конденсатора холодильной машины. Насыщение холодного потока жидкости озонem позволяет максимально увеличить концентрацию озона в ней по сравнению с теплым потоком воды, поступающей в обработку, а нагрев жидкости в конденсаторе с последующим смешением ее с холодным насыщенным раствором ускоряет протекание химического взаимодействия между жидкостью и озонem и снижает энергопотребление холодильной установки за счет использования рабочей жидкости для охлаждения конденсатора, а не специально установленного водоохлаждающего устройства, например градирни.

Озон в сочетании с ультрафиолетовым излучением (УФИ) и с аэроионами повышает эффективность борьбы со спорами бактерий плесневых грибов (рис. 3). В настоящее время во многих странах мира ведутся разработки по снижению энергозатрат на получение озонem-воздушных смесей и повышение эффективности

их бактерицидного действия при более низких концентрациях за счет обеспечения соответствующей динамики озono-воздушных сред вкпе с комплексным применением вышеуказанных комплиментарных факторов.

Помимо озона, УФ, аэроионов, получаемых в газовых смесях, ЭФМ обеспечивают возможность получения:

-низкотемпературной неравновесной плазмы, получаемой с помощью плазмостерилизаторов;

-стабильных озono-водных растворов с высоким содержанием озона;

-электрогидроаэрозолей, обладающих ярко выраженными бактерицидными и микоцидным эффектами.

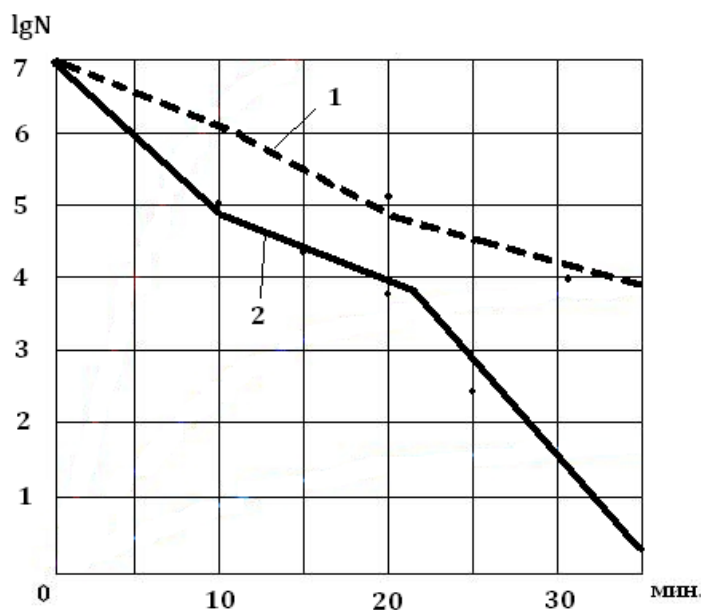


Рис. 3. Кривая выживаемости спор *B.Subtilis* при обработке УФ в нейтральной среде - 1 и в среде, содержащей озон, - 2

Fig. 3. The course of spore *B.Subtilis* survival at processing in neutral medium – 1 and in medium, containing ozon – 2

Эффективность вышеуказанных факторов отмечена в ряде опубликованных в последнее время работ как у нас в стране, так и за рубежом.

Совокупность исследованных и используемых на сегодняшний день электрофизических методов, совместно с искусственным холодом, позволяет создавать надежные и эффективные устройства для разработки систем, обеспечивающих воздействие на полный спектр микрофлоры в рабочем объеме холодильных камер, во весь период длительного хранения продуктов.

Установлено также, что сохранение качества пищевых продуктов существенно улучшается при использовании антисептических охлаждающих сред – стерильного льда и бинарной водно-ледяной смеси, в том числе получаемых с помощью ЭФМ. В этом случае увеличиваются сроки хранения и реализации продукции за счет снижения общей ее обсемененности болезнетворной микрофлорой.

В настоящее время все больший интерес вызывает применение низкотемпературной неравновесной плазмы (НТП) для обработки термолабильных материалов.

Низкотемпературная неравновесная плазма для обработки материала может быть получена при использовании разных форм электрического разряда; при давлении, близком к атмосферному, наиболее целесообразно использовать коронный и емкостный разряды.

Исследования, проведенные авторами по обработке полимерных материалов низкотемпературной плазмой, не поддающихся термическому воздействию, применяемых для упаковки широкого ассортимента продуктов питания и тары при температурах, не превышающих 40-50°C, показали высокую эффективность инактивации бактерий *B. Subtilis*, *E. Coli*, *P. expansum* и других вплоть до полной стерилизации. Отсутствие локальных повреждений в материалах после плазменной обработки открывает возможность стерилизации и дезинфекции различных изделий из полимеров, бумажных изделий, тканей и сред.

Авторами исследована возможность применения плазмостерилизаторов для асептической упаковки продуктов и их дальнейшего холодильного хранения как в условиях долгосрочного хранения (свыше шести месяцев) в стационарных камерах, так и краткосрочного - в магазинных витринах.

Интересные результаты, имеющие практическую значимость, были получены при обработке сыпучих материалов. На их основании можно утверждать, что антисептическая обработка сыпучих смесей перед низкотемпературной обработкой сохранит качество продукта даже в случае нарушения температурных режимов хранения.

Особо следует отметить возможность использования НТП для поддержания асептических условий в холодильных камерах. В частности, результаты экспериментов по хранению винограда и яблок показали, что при низких энергозатратах эффективность холодильной обработки остается неизменной.

Не менее важной проблемой в отраслях АПК (пищевой, холодильной промышленности) является обеззараживание и дезактивация отходов пищевых продуктов растительного происхождения в процессе предварительной обработки последних перед закладкой на хранение. Авторами разработаны установки для обработки гетерогенных газожидкостных и твердых сред электрическим объемным разрядом. Установлено, что сочетания различных факторов, образующихся в разряде и действующих на обрабатываемую среду (таких, как: озон ультрафиолет, атомарный кислород, аэроионы и ряд других активных окислителей), обладают синергетическим эффектом при совместном действии на объект и обеспечивают устойчивую инактивацию микрофлоры при удельных энергозатратах менее 10^{-4} Вт·ч/см³.

Результаты, полученные авторами, убеждают в эффективности широкого применения низкотемпературной неравновесной плазмы при атмосферном давлении в практике холодильной обработки. Предложенный подход обеспечит разработку не только новых методов обработки и стерилизации продуктов, оборудования, тары и упаковки, холодильных камер различного назначения, трюмов судов, но и новых методов контроля экологической безопасности окружающей среды, в частности утилизации отходов переработки, а также

разработку автономных, полностью компьютеризированных, автоматизированных, дистанционно управляемых асептических холодильников.

PROSPECTS FOR THE USE OF ELECTROPHYSICAL METHODS IN THE COLD TECHNOLOGY

B.S. Babakin, M.I. Voronin, S.B. Babakin, R.B. Aitikeev

The paper discusses new approaches to solving problems arising in the framework of the existing paradigms in the treatment of cooling products. Particular attention is paid to the rapidly growing trend in refrigeration, use of electrophysical methods in refrigeration technology.

refrigeration technology, electrophysics, methods, ozon